

بهینه‌سازی اثر پیش‌تیمار آنزیم‌بری، غوطه‌وری در غلظت‌های مختلف محلول کلرید سدیم و خشک کردن خلأ بر میزان جذب روغن و خواص کیفی قطعات سرخ شده بادنجان

سیده الهام موسوی کلجاهی^۱، نارملا آصفی^{۲*}، میترا صوفی^۳

۱- دانشجوی دکتری تخصصی، باشگاه پژوهشگران جوان، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

۲- استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

۳- دانشجوی دکتری تخصصی، باشگاه پژوهشگران جوان، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۷/۰۲/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۲/۰۷)

چکیده

آگاهی از روابط بین متغیرهای مختلف قبل و طی فرآیند سرخ کردن عمیق از طریق انجام مدل‌سازی می‌تواند راه حل مناسبی برای کنترل بهینه شرایط فرآیند و در نتیجه افزایش کیفیت محصول سرخ‌شده نهایی باشد. در این پژوهش، با به کارگیری روش آماری سطح پاسخ و طرح مرکب مرکزی به منظور بررسی تاثیر متغیرهای مستقل شامل آنزیم‌بری، غوطه‌وری در غلظت‌های مختلف محلول کلرید سدیم (۳، ۵ و ۷ درصد) و سپس خشک کردن تحت خلأ (در دمای ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۱، ۲ و ۳ ساعت) قبل از فرآیند سرخ کردن عمیق و تاثیر زمان سرخ کردن (در سه زمان ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ ثانیه) بر میزان جذب روغن و خواص کیفی قطعات سرخ‌شده بادنجان صورت گرفت. معادلات بدست آمده بیانگر آن است که متغیرهای مستقل تاثیر معنی‌داری ($P < 0.05$) بر پارامترهای مورد بررسی دارند و موثرترین متغیر اثر زمان خشک کردن تحت خلأ می‌باشد. همچنین متغیر آنزیم‌بری در تمامی تیمارهای مورد بررسی دارای اثرات معنی‌داری ($P < 0.05$) بوده و به رغم کاهش میزان جذب روغن، دارای اثرات نامطلوبی بر روی خواص کیفی نظیر افزایش چروکیدگی و تغییرات رنگ می‌باشد و به‌طور کلی بهینه‌سازی متغیرهای مورد بررسی نشان داد، نمونه‌های غوطه‌ور شده در محلول کلرید سدیم ۳ درصد و خشک‌شده به مدت ۲ ساعت و سرخ‌شده به مدت ۴۰ ثانیه دارای حداقل میزان محتوای روغن (۱/۷۰ گرم روغن بر گرم ماده خشک بدون روغن)، محتوای رطوبت (۵/۷۰ گرم آب ب گرم ماده خشک بدون روغن)، درصد چروکیدگی (۳/۲ درصد) و تغییرات رنگ نسبت به نمونه شاهد ($\Delta E = 25$) می‌باشند.

کلید واژگان: آنزیم‌بری، بادنجان، خشک کردن تحت خلأ، روش سطح پاسخ، سرخ کردن عمیق

۱- مقدمه

تغییر الگوی زندگی به سمت زندگی مدرن و مصرف مواد غذایی پرچرب یکی از عوامل ابتلا به بیماری‌های قلبی-عروقی، چاقی و سرطان می‌باشد؛ بنابراین تولید مواد غذایی کم-چرب یکی از نیازهای اساسی مصرف‌کنندگان به‌منظور دستیابی به رژیم غذایی سالم است [۲۱].

سبزیجات و میوه‌ها به دلیل ارزش تغذیه‌ای بالا، اهمیت ویژه‌ای در رژیم غذایی انسان دارند. از جمله سبزیجاتی که در طب سنتی به اثرات مفید آن در درمان کم‌خونی، ورم و التهاب، پیشگیری از سکنه‌ی قلبی و کاهش فشارخون اشاره شده است؛ بادنجان می‌باشد [۳]. بادنجان نام عمومی گیاهی متعلق به خانواده‌ی سولاناسه (Solanaceae) است و با نام علمی سولانیوم ملونگینا (*Solanum Melongena*) رده‌بندی می‌شود [۴]. از ویژگی‌های مطلوب بادنجان، مقادیر بالای آب موجود در آن است، که به همراه کالری کم غذایی (۱۵ کیلوکالری به ازای هر ۱۰۰ گرم) مورد توجه کارشناسان امور تغذیه قرار گرفته است. بادنجان حاوی موادمعدنی مختلف از جمله آهن، فسفر، کلسیم، روی و ... و ویتامین‌هایی نظیر ویتامین A، C و گروه B می‌باشد [۵]. طبق رده‌بندی صورت گرفته توسط سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO) (۲۰۱۲)، ایران بعد از چین به عنوان دومین کشور تولید کننده این محصول محسوب می‌شود. بنابراین موارد مذکور به‌همراه طعم مطبوع، باعث مصرف بادنجان در تهیه‌ی انواع غذاهای ایرانی شده است. یکی از قدیمی‌ترین فرآیندهای پخت انواع مواد غذایی ازجمله بادنجان سرخ‌کردن عمیق است، که اساس آن غوطه‌ور نمودن قطعات ماده‌غذایی در روغن یا چربی خوراکی داغ می‌باشد [۲، ۶، ۷ و ۸]. این فرآیند به‌دلیل سرعت بالا، سادگی و هزینه‌های نسبتاً پایین، یکی از پرکاربردترین فرآیندها در صنایع غذایی محسوب می‌شود [۱۰]؛ به‌طوری که سالانه در حدود ۲۰ میلیون تن روغن سرخ‌کردنی در سراسر جهان تولید می‌گردد [۶]. در طول فرآیند سرخ‌کردن عمیق انتقال هم‌زمان جرم و حرارت باعث خروج آب و نفوذ روغن به داخل ماده‌غذایی می‌شود؛ که این مکانیسم تغییرات فیزیکی-شیمیایی مختلف در اثر واکنش‌های گوناگون مانند ژلاتینه شدن نشاسته، واکنش مایلارد و دنا توره شدن پروتئین‌ها را به همراه دارد [۱، ۲ و ۸]. از نتایج مثبت این واکنش‌ها می‌توان به ایجاد طعم و بافت مطلوب در محصول سرخ‌شده اشاره نمود. با این

حال حضور مقادیر بالای چربی که گاهی مقدار آن به یک سوم وزن کل محصول نیز می‌رسد، از نتایج منفی فرآیند مذکور است [۸ و ۱۰]. به‌طوری که این مقدار نه تنها از نظر کالری قابل جذب، برای مصرف‌کننده مناسب نیست؛ بلکه از نظر اقتصادی نیز برای تولیدکننده مقرون به صرفه نمی‌باشد. از این رو پژوهش‌های مختلفی در راستای کاهش میزان روغن جذب شده طی فرآیند سرخ‌کردن عمیق این محصول صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به مطالعه عمرانی خیابانیان و صفری (۱۳۹۵)، اشاره نمود. در این پژوهش اثر پیش‌تیمارهای مختلف شامل پوشش‌دهی با صمغ زانتان، آبیگری اسمزی توسط نمک‌طعام، خشک‌کردن مایکروویو و همچنین دماهای مختلف سرخ‌کردن بر مقدار جذب روغن و کیفیت بادنجان سرخ شده به روش عمیق مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد که هر سه پیش‌تیمار نسبت به نمونه شاهد اثر معنی‌داری بر جذب روغن داشتند و محتوای آن را به‌صورت موثری کاهش دادند که بیشترین کارایی مربوط به نمونه‌های پوشش داده شده با صمغ زانتان بود؛ همچنین با افزایش دمای سرخ‌کردن، میزان جذب روغن کاهش یافت [۱۱]. در پژوهش دیگر صورت گرفته توسط آزادفر و همکاران (۱۳۹۵)، تاثیر پوشش‌دهی برش‌های بادنجان با ترکیبات هیدروکلوئیدی، آنزیم‌بری با آب داغ و بخار، استفاده از پیش‌تیمارهای غوطه‌وری در نمک‌طعام و متابی سولفیت سدیم و سپس عملیات سرخ کردن عمیق در دماها و زمان‌های مختلف بر کاهش جذب روغن در طول فرآیند سرخ‌کردن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که نوع پیش‌تیمار صورت گرفته بر روی خصوصیات محصول شامل مقدار رطوبت، جذب روغن، تغییرات نسبی جذب روغن، راندمان سرخ‌کردن و درصد پوشش‌دهی برش‌های بادنجان بعد از سرخ‌کردن در سطح آماری ۱٪ تاثیر معنی‌داری دارد. همچنین زمان و دمای سرخ‌کردن تاثیر معنی‌داری بر راندمان سرخ کردن برش‌های بادنجان داشت [۱۲]. جرجانی و همراهی (۱۳۹۳)، تاثیر پوشش‌های هیدروکلوئیدهای گوار و زانتان بر جذب روغن در فرآیند سرخ کردن بادنجان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که پوشش‌دهی حلقه‌های بادنجان با مواد هیدروکلوئیدی منجر به کاهش جذب روغن در محصول نهایی گردید که بیشترین مقدار کاهش چربی به ترتیب مربوط به نمونه‌های پوشش‌دهی شده با ۱ و ۰/۵ درصد زانتان بود

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد اولیه مورد استفاده

در این تحقیق، بادنجان و روغن مایع به‌عنوان مواد اولیه، مورد استفاده قرار گرفتند. بادنجان (*Solanum melongena* L., cv Black Bell) از بازار محلی تبریز خریداری گردید و قبل از انجام آزمایشات در سردخانه بالای صفر نگهداری شد. روغن مورد استفاده در این مطالعه، روغن مایع مخصوص سرخ‌کردن (مخلوطی از روغن‌های آفتابگردان، سویا و پنبه‌دانه) با نام تجاری بهار بود.

۲-۲- آماده‌سازی نمونه

برای انجام هر آزمایش، بادنجان‌ها پس از شستشو و پوست‌گیری، توسط یک کاتر دستی (قالب آلومینیومی) به ضخامت ۲ سانتی‌متر و قطر ۳/۵ سانتی‌متر برش داده شدند. بعد از این مرحله، نمونه‌ها مطابق جدول ۱ به بیست گروه تقسیم گردیدند (طراحی آزمایشات با استفاده از نرم افزار Minitab16 صورت گرفت).

[۱۳]. هشام و همکاران (۲۰۱۳) اثر پیش‌تیمار حرارتی شامل آنزیم‌بری با آب یا بخار داغ و شیمیایی شامل غوطه‌وری در SO_2 ، کیتوزان، کربوکسی‌متیل سلولز و نمک‌طعام را بر محتوای روغن و خواص حسی حلقه‌های بادنجان مورد بررسی قرار دادند، که نتایج حاصل نشان داد؛ نمونه‌های آنزیم‌بری شده با آب داغ، پوشش‌دهی شده با کربوکسی‌متیل سلولز، آنزیم‌بری شده با بخار آب، پوشش‌دهی شده با کیتوزان، غوطه‌ور شده در SO_2 و غوطه‌ور شده در نمک‌طعام به ترتیب دارای کمترین میزان جذب روغن بودند [۱۴].

با توجه به مطالعات فوق استفاده از تیمارهای مناسب و مقرون به‌صرفه جهت کاهش محتوای روغن محصولات سرخ‌شده به‌منظور ارتقاء سطح سلامت جامعه، امری ضروری و حائز اهمیت است. در این راستا هدف از این پژوهش بررسی تاثیر فرآیند آنزیم‌بری با آب داغ و غوطه‌وری در غلظت‌های مختلف محلول کلرید سدیم قبل از پیش‌تیمار خشک‌کردن تحت‌خلأ و زمان فرآیند سرخ‌کردن بر میزان جذب روغن و خواص کیفی قطعات سرخ‌شده بادنجان تحت شرایط سرخ‌کردن عمیق می‌باشد.

Table 1 Experimental values designed in response surface methodology

Treatment	Block	vacuum drying Time (h)	sodium chloride (%)	Deep fat frying time (S)
1	1	3	7	40
2	1	1	3	120
3	1	3	3	120
4	1	2	5	80
5	1	2	5	80
6	1	1	3	40
7	1	3	7	120
8	1	3	3	40
9	1	1	7	40
10	1	1	7	120
11	1	2	5	80
12	1	2	5	80
13	2	2	7	80
14	2	2	5	80
15	2	1	5	80
16	2	3	5	80
17	2	2	5	40
18	2	2	5	120
19	2	2	3	80
20	2	2	5	80

فاکتورهای جدول ۱ به شرح زیر تنظیم شده است:

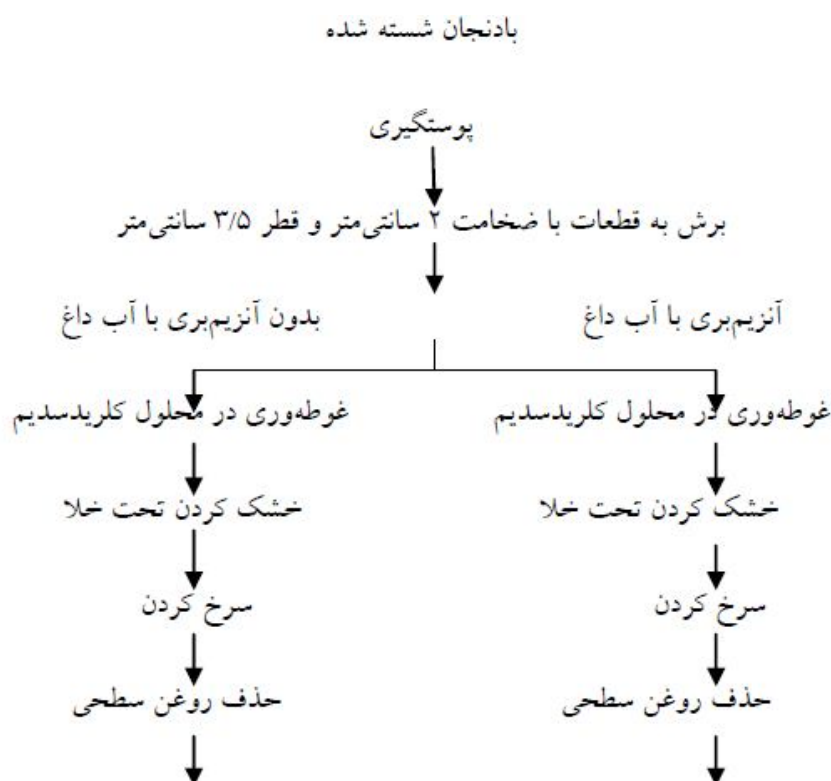


Fig 1 Process flowchart

۲-۲-۱- آنزیم‌بری

جهت تعیین اثرات پیش‌تیمار آنزیم‌بری (غوطه‌وری در آب 100°C به مدت ۵ دقیقه)؛ طراحی آزمایشات در دو بلوک اصلی (بلوک ۱ عدم انجام تیمار آنزیم‌بری و بلوک ۲ انجام عمل آنزیم‌بری) صورت گرفت [۱۵].

۲-۲-۲- غوطه‌وری در محلول کلرید سدیم

در این مطالعه از محلول کلرید سدیم با غلظت‌های ۳، ۵ و ۷ درصد (وزنی-وزنی) جهت غوطه‌وری نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه استفاده گردید. نسبت نمونه به محلول در همه‌ی غلظت-ها ۱ به ۱۰ و دور همزن 150 rpm بود. در تمامی موارد بعد از خروج قطعات بادنجان از محلول کلرید سدیم، رطوبت سطحی آن‌ها توسط کاغذ جاذب حذف گردید [۱۶].

۲-۲-۳- خشک کردن

جهت خشک کردن نمونه‌ها از خشک‌کن تحت خلأ آزمایشگاهی (دما: 60°C و فشار ۲۵ میلی‌بار) استفاده گردید. در تمامی موارد محفظه‌ی خشک‌کن یک ساعت قبل از انجام آزمایشات، به دمای مورد نظر رسانده شد [۱۷].

۲-۲-۴- سرخ کردن

در هر آزمایش بعد از آماده‌سازی نمونه‌ها، سرخ‌کن با $1/5$ لیتر روغن مایع مخصوص سرخ کردن (مخلوطی از روغن‌های آفتابگردان، سویا و پنبه‌دانه) پر شد و بعد از تنظیم دما (180°C)، نمونه‌های بادنجان به میزان $120-100$ گرم در روغن غوطه‌ور گردیدند؛ بعد از سرخ شدن نمونه‌ها به مدت زمان موردنظر (۴۰، ۸۰ و 120 ثانیه)، نمونه‌ها از سرخ‌کن خارج گردیدند و روغن سطحی آن‌ها توسط کاغذ جاذب حذف شد و بلافاصله آنالیزهای مربوط در ۳ تکرار انجام پذیرفت [۱۸].

۲-۳-۲- روش آزمایش

۲-۳-۲-۱- محتوای رطوبت

محتوای رطوبت نمونه‌های سرخ‌شده، از طریق خشک کردن آن‌ها در آون کنوکسیون در دمای $105 \pm 1^{\circ}\text{C}$ تا رسیدن به وزن ثابت انجام شد و بر حسب گرم رطوبت بر گرم ماده خشک بدون روغن گزارش گردید [۱۹].

۲-۳-۲-۲- محتوای روغن

محتوای روغن نمونه‌های سرخ‌شده از طریق استخراج روغن

b_i^* : میزان b^* نمونه‌های سرخ شده به مدت t ثانیه

۲-۳-۵- دانسیته ظاهری

برای محاسبه دانسیته ظاهری، ابتدا حجم ظاهری نمونه‌ها قبل و بعد از سرخ شدن، با بکارگیری تکنیک جابه‌جایی حلال (تولون)، اندازه‌گیری گردید. با بدست آوردن حجم ظاهری نمونه‌ها و با داشتن جرم قطعات بادنجان (خام یا سرخ‌شده)، میزان دانسیته ظاهری نمونه‌ها محاسبه گردید [۲۰].

$$\rho_{ap} = \frac{m}{v}$$

ρ : دانسیته ظاهری نمونه-های خام یا سرخ-شده (gr/cm^3)؛
 m : جرم نمونه (gr)؛ V : حجم ظاهری نمونه در زمان t از فرایند سرخ کردن (cm^3)

۲-۴- تجزیه و تحلیل آماری

بررسی اثرات مستقل و متقابل زمان خشک کردن، غوطه‌وری در غلظت‌های مختلف محلول کلریدسدیم، زمان سرخ کردن و آنزیم‌بری بر میزان جذب روغن، افت رطوبت، چروکیدگی، دانسیته ظاهری و تغییرات رنگ نمونه‌های سرخ‌شده بادنجان با استفاده از نرم‌افزار Minitab16 روش سطح پاسخ (RSM) مورد بررسی قرار گرفت. در این طرح ابتدا بر اساس آزمایشات مقدماتی و پیشینه‌ی تحقیق دامنه‌ی تغییرات فاکتورها برای متغیرهای مستقل تعیین گردید و سپس تاثیر مستقل فاکتورها و اثرات متقابل آن‌ها بر اساس سطح احتمال ۹۵٪ ($P < 0.05$) مورد بررسی قرار گرفت.

آن‌ها در دستگاه سوکسله، با استفاده از حلال پترولیوم اتر اندازه‌گیری گردید و بر حسب گرم روغن بر گرم ماده خشک بدون روغن گزارش شد [۱۹].

۲-۳-۳- چروکیدگی

برای محاسبه چروکیدگی، ابتدا حجم ظاهری نمونه‌ها قبل و بعد از سرخ شدن، با بکارگیری تکنیک جابه‌جایی حلال (تولون)، با استفاده از یک پیکنومتر شیشه‌ای اندازه‌گیری گردید. با بدست آوردن حجم ظاهری نمونه، میزان چروکیدگی نمونه-های سرخ شده از طریق رابطه زیر محاسبه شد [۲۰].

$$S(t) = \frac{(V_0 - V_t)}{V_0}$$

$S(t)$: درصد چروکیدگی در زمان‌های مختلف؛ V_t : حجم ظاهری نمونه در زمان t از فرایند سرخ کردن (cm^3)؛ V_0 : حجم ظاهری نمونه اولیه (cm^3)

۲-۳-۴- رنگ

بررسی رنگ نمونه‌های تولید شده با استفاده از روش یام و پاپاداکیس (۲۰۰۳) انجام پذیرفت. تصاویر دیجیتالی نمونه‌ها، داخل محفظه‌ی معین با شدت نور و فاصله لنز ثابت تا نمونه، گرفته شد و فاکتورهای L^* ، a^* ، b^* تعیین گشت [۲۱].

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L_i^*)^2 + (a_0^* - a_i^*)^2 + (b_0^* - b_i^*)^2}$$

L_0^* : میزان L^* استاندارد؛ L_i^* : میزان L^* نمونه‌های سرخ شده به مدت t ثانیه؛ a_0^* : میزان a^* استاندارد؛ a_i^* : میزان a^* نمونه‌های سرخ شده به مدت t ثانیه؛ b_0^* : میزان b^* استاندارد

Table 2 The independent quantity variables and their levels used for design

Xi	Factor Levels		
	-1	0	+1
Vacuum drying time (X1)(h)	1	2	3
NaCl Concentration (X2) (%)	3	5	90
Frying time (X3)(S)	40	80	120

Table 3 The independent quality variables and their levels used for design

Xi	Block	
Blanching (X0)	1	2

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج اثر پیش تیمارهای مختلف

بر محتوای رطوبت

از بین متغیرهای مستقل تأثیرگذار بر محتوای رطوبت، بیشترین اثر به ترتیب مربوط به زمان خشک کردن ($F=154/03$)، زمان سرخ کردن ($F=153/15$)، تیمار آنزیم‌بری ($F=10/09$) و غوطه‌وری در غلظت‌های مختلف محلول کلرید سدیم ($F=8/14$) در سطح احتمال ۹۵٪ ($P<0/05$) بودند. همچنین اثرات متقابل زمان خشک کردن و زمان سرخ کردن ($F=0/6351$) نیز بر محتوای رطوبت نمونه‌ها معنی‌دار ($P<0/05$) بود. شکل ۲ اثر مستقل و متقابل زمان خشک کردن و زمان سرخ کردن بر محتوای رطوبت نمونه‌های سرخ شده‌ی بادنجان را نشان می‌دهد. مطابق این شکل در زمان

ثابت سرخ کردن با افزایش زمان پیش تیمار خشک کردن، محتوای رطوبت اولیه نمونه‌ها و متعاقباً نمونه‌های سرخ شده کاهش می‌یابد، که این امر به علت اثر افزایش زمان پیش تیمار خشک کردن تحت خلأ بر افزایش میزان مهاجرت رطوبت از مرکز به سطح محصول بوده که نهایتاً تبخیر رطوبت از سطح نیز افزایش می‌یابد و منجر به افزایش محتوای ماده جامد در قطعات بادنجان و متعاقباً محصول نهایی سرخ شده می‌شود [۱ و ۲]. همچنین بررسی اثر زمان سرخ کردن بر محتوای رطوبت نمونه‌ها نشان می‌دهد؛ با افزایش زمان سرخ کردن از ۴۰ ثانیه به ۱۲۰ ثانیه محتوای رطوبت نمونه‌ها کاهش می‌یابد؛ که این امر به دلیل اثر افزایش زمان سرخ کردن بر افزایش میزان رطوبت خارج شده از مرکز؛ فرایند حرارتی به داخل روغن می‌باشد. نتایج مشابهی نیز در مطالعه بر روی انواع مواد غذایی سرخ شده گزارش شده است [۲۲، ۲۳ و ۲۴].

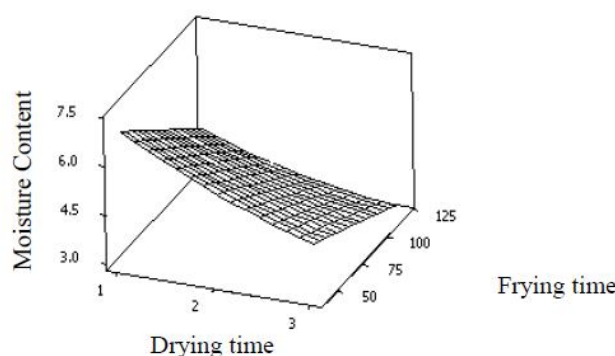


Fig 2 The 3D response surface plots of Moisture Content affected by Drying time (X1, h) and Frying time (X3, S)

غوطه‌ور شده در محلول کلرید سدیم ۷ درصد و سپس خشک شده به مدت ۳ ساعت دارای کمترین میزان محتوای رطوبت بودند. همچنین مطابق نتایج حاصل تأثیر آنزیم‌بری بر محتوای رطوبت نمونه‌ها معنی‌دار است؛ که این امر به دلیل اثر پیش تیمار آنزیم‌بری بر کاهش مقاومت در برابر انتقال رطوبت و افزایش ضریب انتشار موثر رطوبت می‌باشد؛ در نتیجه این مورد باعث افزایش سرعت خشک کردن و کاهش هر چه بیشتر محتوای رطوبت در طول خشک کردن می‌شود [۱۵ و ۲۷]؛ بنابراین در تمامی موارد نمونه‌های آنزیم‌بری شده (بلوک ۲) محتوای رطوبت کمتری نسبت به سایر نمونه دارند.

شکل ۳ اثر غوطه‌وری در غلظت‌های مختلف محلول کلرید سدیم و زمان خشک کردن بر محتوای رطوبت نمونه‌های سرخ شده‌ی بادنجان را نشان می‌دهد. مطابق این شکل در زمان ثابت خشک کردن با افزایش غلظت محلول کلرید سدیم محتوای رطوبت نمونه‌ها کاهش می‌یابد؛ به عبارت دیگر با افزایش غلظت محلول کلرید سدیم به دلیل افزایش فشار اسمزی، فعالیت آبی محلول کاهش می‌یابد، لذا بدلیل ایجاد گرادیان پتانسیل شیمیایی بین ماده غذایی و محلول اسمزی، آب بیشتری از ماده غذایی به داخل محلول اسمزی جریان می‌یابد [۲۵ و ۲۶]. بنابراین در زمان ثابت سرخ کردن، نمونه‌های

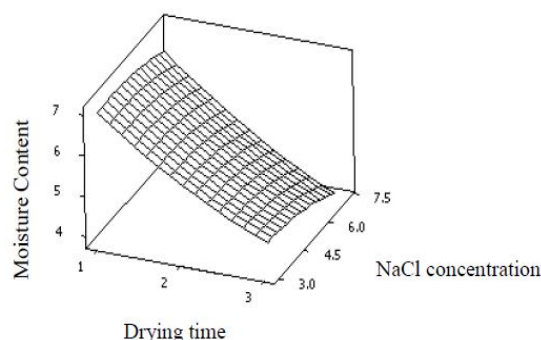


Fig 3 The 3D response surface plots of Moisture Content affected by Drying time (X1, h) and NaCl concentration (X2, %)

۲-۳- نتایج اثر پیش تیمارهای مختلف بر محتوای روغن

اثرات مستقل و متقابل پیش تیمارهای مختلف بر محتوای روغن نمونه‌های سرخ شده بادنجان نشان می‌دهد، از بین متغیرهای مستقل تاثیرگذار بر محتوای روغن، بیشترین اثر به ترتیب مربوط به زمان خشک کردن ($F=541/55$)، زمان سرخ کردن ($F=227/20$)، تیمار آنزیم‌بری ($X0$) ($F=15/69$) و غوطه‌وری در غلظت‌های مختلف محلول کلریدسدیم ($F=14/71$) در سطح احتمال ۹۵٪ ($P<0/05$) می‌باشد و اثرات متقابل متغیرها از نظر آماری معنی‌دار ($P>0/05$) نمی‌باشد. مطابق شکل ۴ با افزایش زمان پیش تیمار خشک کردن از ۱ به ۳ ساعت محتوای روغن نمونه‌های سرخ شده کاهش یافت؛ علت پدیده مذکور این گونه بیان می‌شود که خشک کردن باعث کاهش محتوای رطوبت اولیه نمونه‌ها می‌شود و مقدار رطوبت ماده غذایی به طور عمده تعیین کننده میزان جذب روغن می‌باشد، زیرا خروج آب از ماده غذایی به شکل بخار سبب ایجاد فضاهای خالی برای ورود بعدی روغن می‌گردد [۱، ۲۸ و ۲۹]. همچنین ایجاد یک لایه نازک بر سطح خارجی ماده غذایی در پایان پیش تیمار خشک کردن باعث تسریع در تشکیل یک پوسته خارجی در طول سرخ کردن عمیق می‌شود که این مورد به نوبه خود، باعث افزایش مقاومت در مقابل نفوذ روغن به بخش درونی قطعات سرخ شده می‌شود [۳۰ و ۳۱]؛ بنابراین می‌توان بیان کرد، پیش تیمار خشک کردن به دلیل کاهش پدیده انتقال جرم (افت رطوبت و جذب روغن) در طول فرآیند سرخ کردن

عمیق و کاهش نسبت منافذ باز، به عنوان یک روش موثر جهت کاهش محتوای روغن در محصول سرخ شده‌ی نهایی می‌باشد [۲ و ۳۲]؛ همچنین مطابق این شکل با افزایش زمان سرخ کردن، محتوای روغن نمونه‌ها افزایش یافت، یعنی با افزایش زمان سرخ کردن فرصت بیشتری برای خروج رطوبت در اختیار نمونه‌ها قرار داده شده، افت رطوبت در نمونه‌ها افزایش یافته و متعاقباً جایگزینی روغن به جای آب در داخل نمونه افزایش می‌یابد (افزایش روغن ساختاری: Structure Oil). نتایج بدست آمده با نتایج حاصل از پژوهش سایر محققان مطابقت دارد [۳۳ و ۳۴]. بنابراین نمونه‌های خشک شده به مدت ۳ ساعت و سرخ شده به مدت ۴۰ ثانیه دارای کمترین میزان محتوای روغن بودند. همچنین نتایج حاصل نشانگر آن است که انجام تیمار آنزیم‌بری قبل از خشک کردن باعث افزایش سرعت افت رطوبت در طول خشک کردن گردید؛ که این امر به دلیل کاهش رطوبت اولیه و متعاقباً کاهش جذب روغن در طول سرخ کردن عمیق می‌باشد. بنابراین نمونه‌های آنزیم‌بری شده از محتوای روغن کمتری نسبت به سایر نمونه‌ها برخوردار بودند. همچنین با افزایش غلظت محلول کلریدسدیم و زمان خشک کردن (شکل ۵)، محتوای روغن نمونه‌ها کاهش یافت. به عبارتی در صورت غوطه‌ور نمودن نمونه‌ها در محلول کلریدسدیم ۷ درصد و سپس خشک کردن آن‌ها به مدت ۳ ساعت به دلیل کاهش هر چه بیشتر محتوای رطوبت اولیه نمونه‌ها، جذب روغن در طول سرخ کردن (بدلیل کاهش انتقال جرم) کاهش می‌یابد.

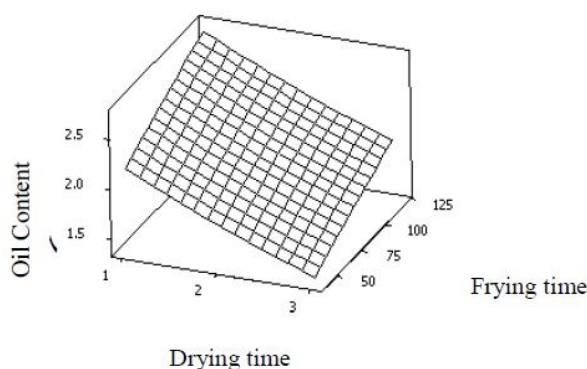


Fig 4 The 3D response surface plots of Oil Content affected by Drying time (X1, h) and Frying time (X3, S)

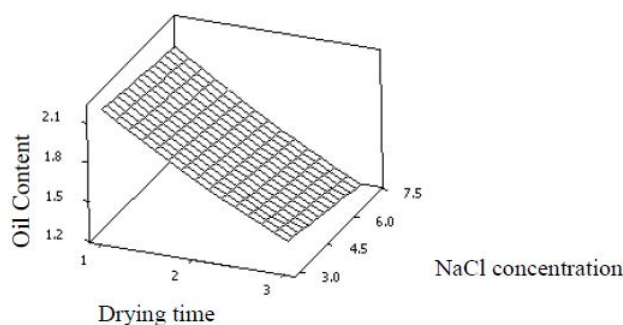


Fig 5 The 3D response surface plots oil content affected by Drying time (X1, h) and NaCl concentration (X2, %)

زمان سرخ‌کردن درصد چروکیدگی نمونه‌ها افزایش یافت؛ به-عبارتی با افزایش زمان سرخ‌کردن محتوای رطوبت نمونه‌ها کاهش یافته و کاهش محتوای رطوبت باعث افزایش چروکیدگی نمونه‌ها گردید؛ به‌طوری که در زمان‌های اولیه فرآیند، در اثر خروج سریع رطوبت آزاد موجود در نمونه‌ی غذایی، چروکیدگی خیلی سریع اتفاق افتاد و با گذشت زمان سرخ‌کردن، آهنگ وقوع آن کاهش یافت. در واقع، بروز چروکیدگی حجمی حین مراحل اولیه فرآیند سرخ‌کردن، کاملاً معادل با حجم آب خارج شده از ماده‌ی غذایی می‌باشد [۳۵]. از طرف دیگر ثابت شدن میزان چروکیدگی در زمان‌های بالای فرآیند سرخ‌کردن (در محتوای رطوبت نسبتاً پایین) را می‌توان به تشکیل یک پوسته سخت بر سطح نمونه‌ها نسبت داد؛ که این پوسته، کاهش حجم بیشتر ماده‌ی غذایی را محدود می‌کند [۳۶]؛ به عبارتی در محتوای رطوبت پایین تغییر حالت از فاز لاستیکی به شیشه‌ای صورت می‌گیرد و سختی مواد باعث توقف چروکیدگی می‌گردد، همچنین چروکیدگی ابتدا در سطح نمونه‌ها اتفاق افتاده و به تدریج با گذشت زمان سرخ‌کردن، به سمت داخل ماده‌ی غذایی حرکت می‌کند [۳۷]. ازطرفی مطابق این شکل در زمان ثابت سرخ‌کردن با افزایش زمان پیش‌ تیمار

۳-۳- نتایج اثر پیش تیمارهای مختلف بر چروکیدگی

نتایج آزمون‌های انجام پذیرفته نشان می‌دهد، از بین متغیرهای مستقل تأثیرگذار، بیشترین اثر به ترتیب مربوط به زمان سرخ-کردن ($F=3723/20$)، زمان خشک‌کردن ($F=719/97$)، تیمار آنزیم‌بری ($F=78/56$) و غوطه‌وری در غلظت‌های مختلف محلول کلرید سدیم ($F=40/23$) در سطح احتمال ۹۵٪ ($P<0/05$) بود. همچنین اثرات متقابل زمان خشک‌کردن و زمان سرخ‌کردن ($F=17/11$) بر درصد چروکیدگی نمونه‌ها معنی‌دار ($P<0/05$) بودند. چروکیدگی یا به عبارت دیگر کاهش حجم ظاهری محصول نهایی، یکی از معایب سرخ‌کردن می‌باشد؛ که به علت تغییرات ساختاری ایجاد شده طی سرخ-کردن رخ می‌دهد. همچنین چروکیدگی را می‌توان به‌صورت تغییر در ابعاد و ضخامت ماده‌ی غذایی طی فرآیند سرخ‌کردن تعریف نمود. میزان خروج آب از ماده غذایی طی فرآیند سرخ-کردن، رابطه‌ی بسیار نزدیکی با بروز چروکیدگی دارد، به-طوری که با کاهش محتوای رطوبت ماده‌ی غذایی، میزان چروکیدگی آن افزایش می‌یابد [۲۹]. مطابق شکل ۶ با افزایش

کاهش یافت؛ در نتیجه این امر باعث کاهش حجم محصول سرخ شده (چروکیدگی) گردید.

خشک کردن؛ درصد چروکیدگی نمونه ها افزایش یافت؛ چرا که با افزایش زمان خشک کردن محتوای آب آزاد اولیه ماده غذایی

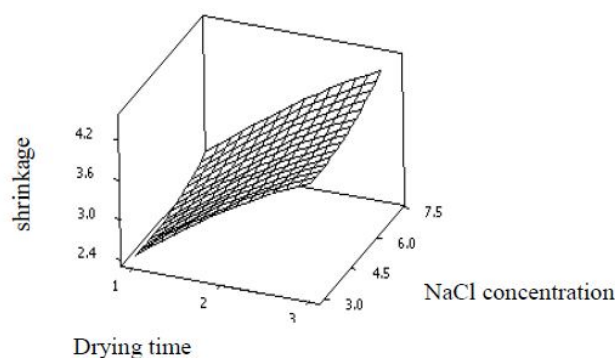


Fig 7 The 3D response surface plots shrinkage affected by Drying time (X1, h) and NaCl concentration (X2, %)

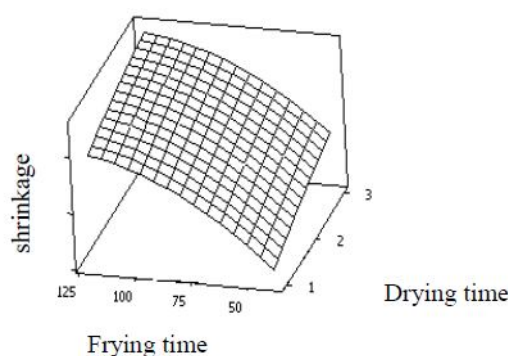


Fig 6 The 3D response surface plots of shrinkage affected by Drying time (X1, h) and Frying time (X3, S)

از سرخ کردن می باشد. بنابراین در تمامی موارد نمونه های آنزیم بری شده (بلوک ۲) دارای درصد چروکیدگی بالاتری نسبت به سایر نمونه ها بودند.

۳-۴- نتایج اثر پیش تیمارهای مختلف بر دانسیته ظاهری

نتایج آزمون دانسیته ظاهری نمونه های سرخ شده بادنجان نشانگر آن است که از بین متغیرهای مستقل تأثیرگذار بیشترین اثر به ترتیب مربوط به زمان خشک کردن ($F=171/31$)، زمان سرخ کردن ($F=31/28$)، انجام تیمار آنزیم بری ($F=11/68$) و غوطه وری در غلظت های مختلف محلول کلرید سدیم

شکل ۷ اثر غوطه وری در غلظت های مختلف محلول کلرید سدیم و زمان خشک کردن بر درصد چروکیدگی قطعات سرخ شده ی بادنجان را در زمان ثابت سرخ کردن (۴۰ ثانیه) نشان می دهد. مطابق این شکل با افزایش غلظت محلول کلرید سدیم و زمان خشک کردن به دلیل کاهش محتوای رطوبت اولیه نمونه ها (کاهش حجم اولیه)، درصد چروکیدگی نمونه های سرخ شده افزایش یافت [۲]. همچنین انجام پیش تیمار آنزیم بری قبل از خشک کردن، باعث افزایش سرعت افت رطوبت گردید [۱۵]؛ که این امر به دلیل کاهش رطوبت اولیه نمونه ها و متعاقباً کاهش حجم آن ها (افزایش چروکیدگی) بعد

خشک‌کردن، باعث افزایش سرعت افت رطوبت در طول خشک‌کردن گردید، در نتیجه در زمان ثابت خشک‌کردن انجام تیمار آنزیم‌بری باعث افت بیشتر محتوای رطوبت شده و در تمامی موارد نمونه‌های آنزیم‌بری شده (بلوک ۲) دارای نسبت جرم به حجم کمتری بودند. همچنین شکل ۹ اثر غوطه‌وری در غلظت‌های مختلف محلول کلرید سدیم و زمان پیش‌ تیمار خشک‌کردن بر دانسیته ظاهری قطعات سرخ‌شده‌ی بادبجان را در زمان ثابت سرخ‌کردن نشان می‌دهد. مطابق این شکل در زمان ثابت خشک‌کردن، با افزایش غلظت محلول کلرید سدیم دانسیته ظاهری نمونه‌ها کاهش یافت؛ به عبارتی استفاده از آبگیری اسمزی قبل از پیش‌ تیمار خشک‌کردن باعث کاهش محتوای رطوبت اولیه و دانسیته ظاهری اولیه نمونه‌ها گردید [۳۴]؛ که این مورد با افزایش غلظت محلول کلرید سدیم به دلیل افت هر چه بیشتر محتوای رطوبت تشدید گردید و چون افت جرمی بیشتر از افت حجمی بود لذا دانسیته ظاهری کمتری حاصل شد.

($F=7/42$) در سطح احتمال ۹۵٪ ($P<0/05$) بود. همچنین اثرات متقابل زمان خشک‌کردن و زمان سرخ‌کردن ($F=6/86$) بر دانسیته ظاهری نمونه‌ها معنی‌دار ($P<0/05$) بود.

مطابق شکل ۸ با افزایش زمان پیش‌ تیمار خشک‌کردن، دانسیته ظاهری نمونه‌های سرخ‌شده کاهش یافت؛ یعنی با افزایش زمان پیش‌ تیمار خشک‌کردن، نمونه‌ها دچار افت جرمی و حجمی گردیدند؛ اما به دلیل استفاده از خشک‌کن تحت خلأ (فشار ۲۵ میلی‌بار)، در تمامی زمان‌های خشک‌کردن افت جرمی بیشتر از افت حجمی بود؛ که این مورد از دلایل اصلی کاهش نسبت جرم به حجم در نمونه‌ی اولیه و متعاقباً نمونه‌های سرخ‌شده است. از طرفی در زمان ثابت پیش‌ تیمار خشک‌کردن با افزایش زمان سرخ‌کردن از ۴۰ ثانیه به ۱۲۰ ثانیه، دانسیته ظاهری نمونه‌ها کاهش یافت. نتایج مشابهی نیز توسط سایر محققان گزارش شده است [۲ و ۳۱]. دلیل این مسئله را می‌توان به وقوع پدیده‌های انتقال جرم (خروج رطوبت و جذب روغن) و همچنین ایجاد منافذ و فضاهای خالی در قطعات سرخ‌شده نسبت داد. از طرفی انجام پیش‌ تیمار آنزیم‌بری قبل از پیش‌ تیمار

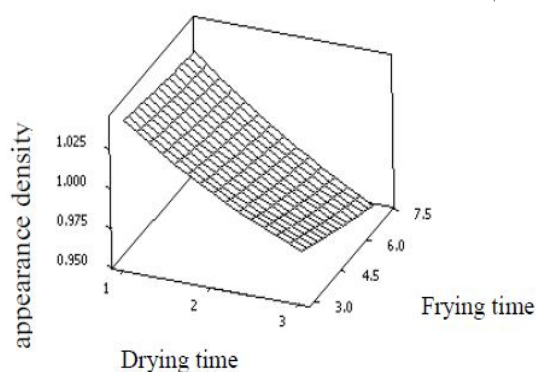


Fig 8 The 3D response surface plots of appearance density affected by Drying time (X1, h) and Frying time (X3, S)

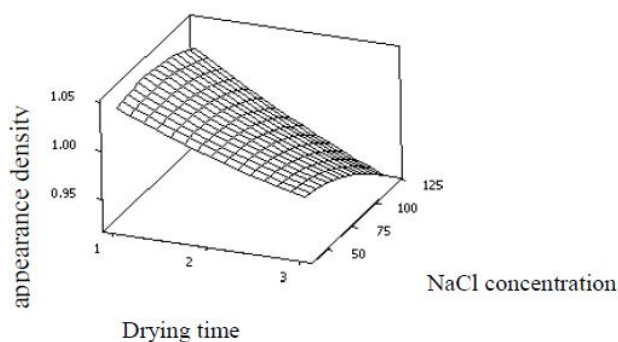


Fig 9 The 3D response surface plots appearance density affected by Drying time (X1, h) and NaCl concentration (X2, %)

۳-۵- نتایج اثر پیش تیمارهای مختلف بر تغییرات رنگ

با توجه به اینکه رنگ یکی از مهمترین فاکتورهای تأثیرگذار بر میزان پذیرش است، نتایج بدست آمده نشانگر آن بود که از بین متغیرهای مستقل تأثیرگذار بر تغییرات رنگ، بیشترین اثر به ترتیب مربوط به زمان خشک کردن ($F=57/25$)، زمان سرخ کردن ($F=31/46$)، انجام تیمار آنزیم بری ($F=16/69$) و غوطه وری در غلظت‌های مختلف محلول کلریدسدیم ($F=5/69$) در سطح احتمال ۹۵٪ ($P<0/05$) بود و اثرات متقابل متغیرها از نظر آماری معنی‌دار ($P>0/05$) نبود. انجام پیش تیمار آنزیم بری قبل از خشک کردن، باعث افزایش سرعت خشک کردن می‌شود،

زمان سرخ کردن میزان تغییرات رنگ نمونه‌ها نسبت به نمونه‌ی شاهد افزایش یافت. به عبارتی افزایش زمان خشک کردن باعث کوتاه شدن زمان سرخ کردن (زمان لازم برای رسیدن به رنگ مطلوب) می‌شود [۳۱]؛ از طرفی مطابق شکل ۱۰، با افزایش غلظت محلول کلریدسدیم و زمان خشک کردن، به دلیل کاهش محتوای رطوبت اولیه نمونه‌ها، زمان لازم جهت سرخ کردن نمونه‌ها تا رسیدن به رنگ مطلوب کاهش یافت.

۳-۶- بهینه سازی

در این مطالعه بهینه سازی نهایی متغیرهای کمی مورد بررسی شامل زمان پیش تیمار خشک کردن تحت خلأ، غلظت محلول کلریدسدیم و زمان فرآیند سرخ کردن جهت دستیابی به حالتی که کمترین

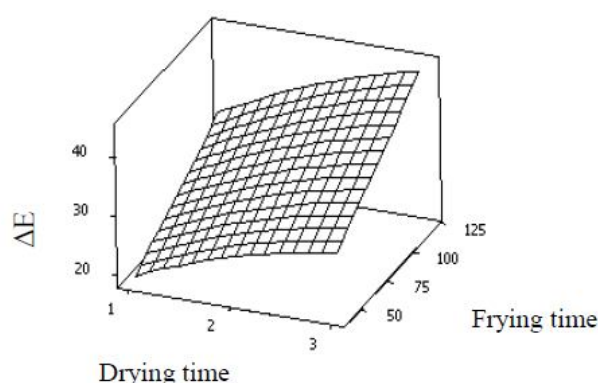


Fig 10 The 3D response surface plots of ΔE affected by Drying time (X_1 , h) and Frying time (X_3 , S)

میزان محتوای روغن و در عین حال بالاترین خواص کیفی (شامل کمترین میزان چروکیدگی، بیشترین مقدار دانسیته ظاهری و کمترین مقدار تغییرات رنگ نسبت به نمونه‌ی شاهد) حاصل شود؛ با استفاده از نرم افزار Minitab16 صورت گرفت. جدول زیر فاکتورهای آنالیز نمونه‌ی بهینه و نمونه‌ی شاهد (سرخ شده به مدت ۱۲۰ ثانیه) را نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است نتایج بدست آمده در مورد مدل بهینه از نظر خواص کیفی نزدیک به نمونه شاهد می‌باشد؛ در حالی که از مقادیر روغن بسیار کمتری برخوردار است.

یعنی در زمان ثابت خشک کردن رطوبت بیشتری از نمونه‌ها خارج می‌گردد؛ لذا در طول سرخ کردن مدت زمان لازم جهت رسیدن به رنگ مطلوب کاهش می‌یابد. از طرفی آنزیم بری باعث تیره شدن رنگ اولیه نمونه‌ها می‌گردد که این مورد نیز تأثیر بسزایی در افزایش تغییرات رنگ نسبت به نمونه شاهد داشت. بنابراین در تمامی موارد، نمونه‌های آنزیم بری نشده (بلوک ۱) از رنگ مطلوب تری نسبت به نمونه‌ی شاهد برخوردار بودند. شکل ۱۱ اثر زمان خشک کردن و زمان سرخ کردن بر میزان تغییرات رنگ قطعات سرخ شده‌ی بادنجان را نشان می‌دهد. مطابق این شکل با افزایش زمان خشک کردن و

Table 4 Comparison of the control sample and the optimum sample

Results	Moisture content	Oil content	shrinkage	Appearance density	ΔE
Optimum Sample	5±700	1±700	1± 000	3± 200	5± 000
blank sample	6±370	3±706	1± 037	3± 921	-

Table 5 Modeling of responses by response surface methodology

Response	Formula	R ²	R ² (adjusted)
Moisture content	$Y = 10.8922 - 0.436833 X_0 - 1.5749 X_1 - 0.11625 X_2 - 0.0393 X_3 + 0.00704375 X_1 X_3$	0.9670	0.9552
Oil content	$Y = 2.61943 - 0.119417 X_0 - 0.4011 X_1 - 0.03305 X_2 + 0.006495 X_3$	0.9861	0.9824
shrinkage	$Y = -2.47845 + 0.381574 X_0 + 1.36976 X_1 + 0.226997 X_2 + 0.104102 X_3 - 0.105941 X_1^2 - 0.00303125 X_1 X_3 + 0.0310147 X_2^2 - 0.000362776 X_3^2$	0.9977	0.9961
Appearance density	$Y = 1.12239 - 0.0174583 X_0 - 0.0247 X_1 - 0.00465 X_2 - 2.25 X_3 - 0.00025 X_1 X_3$	0.9480	0.9294
ΔE	$Y = -7.27095 + 7.89525 X_0 + 7.1949 X_1 + 1.13455 X_2 + 0.13333 X_3$	0.9296	0.9234

X₀: Blanching, X₁: Vacuum drying time, X₂: NaCl Concentration, X₃: Frying time

۴- نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از بررسی، نشانگر استفاده‌ی ترکیبی از پارامترهای موثر بر جذب روغن و خواص کیفی قطعات سرخ شده بادنجان (خشک‌کردن و تیمارهای قبل از آن، شامل آنزیم‌بری و غوطه‌وری در محلول کلرید سدیم و زمان سرخ‌کردن) و تاثیر متقابل آن‌ها با استفاده از روش سطح پاسخ می‌باشد. به‌طوریکه استفاده از پیش‌ تیمار خشک‌کردن و غوطه‌وری در غلظت‌های مختلف محلول کلرید سدیم قبل از فرایند سرخ‌کردن باعث افت رطوبت و کاهش جذب روغن در طول سرخ کردن می‌شود. همچنین استفاده از تیمار آنزیم‌بری قبل از فرایند خشک‌کردن به رغم کاهش محتوای رطوبت در طول خشک کردن باعث اثرات نامطلوب کیفی می‌شود.

۵- منابع

- Beka, K.C. Ndi, B. Maloga, J.M. Bindzi, P. Donn, and C.M. Mbofung. 2010. Milk-clotting potential of fruit extracts from *Solanum esculentum*, *Solanum macrocarpon* L. and *Solanum melongena*. *African Journal of Biotechnology*. 9(12): 1797-802.
- [5] Khurana, M., R. Bansal, V. Nayyar, and R. Setia. 2008. Yield and metal composition of brinjal (*Solanum melongena*) and pigweed (*Amaranthus tricolor*) as influenced by lead contaminated soils. *Agrochimica*. 52(2): 60-70.
- [6] Dana, D., and I. Saguy. 2006. Review: Mechanism of oil uptake during deep-fat frying and the surfactant effect-theory and myth. *Advances in colloid and interface science*. 128-130: 267-272.
- [7] Gupta, P., U.S. Shivhare, and A.S. Bawa. 2000. Studies on frying kinetics and quality of French fries. *Drying Technology*. 18: 311-321.
- [8] Mellema, M. 2003. Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods. *Trends in Food Science & Technology*. 14: 364-373.
- [9] Mestdagh, F., T. De Wilde, S. Fraselle, Y. Govaert, W. Ooghe, J. Degroodt, R. Verhe, C. Van Peteghem, and B. De Meulenaer. 2008. Optimization of the blanching process to reduce acrylamide in fried potatoes. *LWT-Food science and Technology*. 41: 1648-1654.
- [10] Alvis, A., C. Velez, M. Mendoza, M. Villamiel, and H. Villada. 2009. Heat transfer coefficient during deep-fat frying. *Food Control*. 20: 321-325.
- [11] omrani khiabani, N., and A. safari. 2016. effect of different frying temperatures on oil uptake and quality of deep fried eggplant. *Food processing and production*. 3: 67-84.
- [12] Azadfar, A., A.H. elhami, and A. sharifi. 2016. effect of eggplant slices coating on
- [1] Debnath, S., K. Bhat, and N. Rastogi. 2003. Effect of pre-drying on kinetics of moisture loss and oil uptake during deep fat frying of chickpea flour-based snack food. *LWT – Food science and Technology*. 36: 91-98.
- [2] Krokida, M.K., V. Oreopoulou, Z.B. Maroulis, and D. Marinos. 2001. Effect of pre-drying on quality of French fries. *Journal of Food Engineering*. 49: 347-345.
- [3] Botelho, F., L. Enéasa, G. Cesara, C. Bizzottob, É. Tavaresb, F. Oliveirab, M. Beatriz, A. Gloriab, M. Silvestreb, R. Arantes, and I. Alvarez-LeiteJ. 2004. Effects of eggplant (*Solanum melongena*) on the atherogenesis and oxidative stress in LDL receptor knock out mice (LDLR). *Food and Chemical Toxicology*. 42(8): 1259-1267.
- [4] Guiana, V.D., D.G. Libouga, E. Ngah, R.G.

- process assessment. CRC press. Pp: 415.
- [26] Singh, S., U.S. Shivhare, J. Ahmed, and G.S.V. Raghavan. 1999. Osmotic concentration kinetics and quality of carrot preserve. *Food Research International*. 32: 509-514.
- [27] Arevalo-Pinedo, A., and F. Murr. 2007. Influence of pre-treatments on the drying kinetics during vacuum drying of carrot and pumpkin. *Journal of food engineering*. 80:152–156.
- [28] Mehta, U., and B. Swinburn. 2001. A review of factors affecting fat absorption in hot chips. *Critical Reviews in Food science and Nutrition*. 41: 133-154.
- [29] Southern, C.R., X.D. Chen, M.M. Farid, B. Howard, and L. Eyres. 2000. Determining internal oil uptake and water content of fried thin potato crisps. *Magazine Bullten Journal of Food and Bio products Processing*. 78: 119-125.
- [30] Moyano, P., and F. Pedreschi. 2006. Kinetics of oil uptake during frying of potato slices: Effect of pre-treatments. *LWT–Food science and Technology*. 39: 285-291.
- [31] Ziaiifar, A.M., N. Achir, F. Courtois, I. Trezzani, and G. Trystram. 2008. Review of mechanisms, conditions, and factors involved in the oil uptake phenomenon during the deep-fat frying process. *International Journal of Food Science and Technology*. 43: 1410-1423.
- [32] Moyano, P., V. Rioseco, and P. González. 2002. Kinetics of crust color changes during deep-fat frying of impregnated French fries. *Journal of Food Engineering*. 54: 249–255.
- [33] Mariscal, M., and P. Bouchon. 2008. Comparison between atmospheric and vacuum frying of apple slice. *Food Chemistry*. 107: 1561-1569.
- [34] Ngadi, M., Y. Li, and S. Oluka. 2007. Quality changes in chicken nuggets fried in oils with different degrees of hydrogenation. *LWT–Food Science and Technology*. 40: 1784–1791.
- [35] Garayo, J., and R. Moreira. 2002. Vacuum frying of potato chips. *Journal of Food Engineering*. 55: 181–191.
- [36] Mayor, L., and A.M. Sereno. 2004. Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review. *Journal of Food Engineering*. 61: 373–386.
- [37] Pedreschi, F., P. Moyano, N. Santis, and R. Pedreschi. 2007. Physical properties of pre-treated potato chips. *Journal of Food Engineering*. 79(4): 1474–1482.
- reducing oil uptake during frying. *Innovation in Food Science and Technology*. 4: 1-13.
- [13] Jorjani, S., and V. Hamrahi. 2015. Effect of Guar and xanthan hydrocolloids on uptake of oil in eggplant rings during deep frying. *Journal of Food Research (Agricultural Science)*. 2: 231-238.
- [14] Hesham, A. E., M. T. Ramadan, H. S. Ali and G.H. Ragab. 2013. Optimizing Oil Reduction in Fried Eggplant Rings. *Journal of Applied Sciences Research*. 9(6): 3708-3717.
- [15] Ertekin, C., and O. Yaldiz. 2004. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. *Journal of food engineering*. 63:349–359.
- [16] Soleimani, J., Z. Emam-Djomeh, and H.R.Ghasemzadeh. 2008. Osmotic dehydration pretreatment for air-dried carrot. *Pajouhesh & Sazandegi*. 78: 101-109.
- [17] Wu, L., T. Orikasa, Y. Ogawa, and A. Tagawa. 2007. Vacuum drying characteristics of eggplants. *Journal of Food Engineering*. 83: 422-429.
- [18] Alizadeh Bonab, S., J. Dehghannia, and M. Sowti Khiyabani. 2013. Effect of Blanching and Edible Hydrocolloids on reduction of oil uptake during frying of potato sticks. *Innovative Food Technologies*. 1: 21-36.
- [19] AOAC, 1990. Official Methods of Analysis. Association of official Analytical Chemists, Washington, DC.
- [20] Ziaiifar, A.M., F. Courtois, and G. Trystram. 2010. Porosity development and its effect on oil uptake during frying process. *Journal of Food process Engineering*. 33: 191-212.
- [21] Yam, K.L., and S.E. Papadakis. 2004. A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. *Journal of Food Engineering*. 61: 137–142.
- [22] Mariscal, M., and P. Bouchon. 2008. Comparison between atmospheric and vacuum frying of apple slice. *Food Chemistry*. 107: 1561-1569.
- [23] Math, R.G., V. Velu, A. Nagender, and D.G. Rao. 2004. Effect of frying conditions on moisture, fat, and density of papad. *Journal of Food Engineering*. 64: 429–434.
- [24] Troncoso, E., and F. pedreschi. 2009. Modeling water loss and oil uptake during vacuum frying of pre-treated potato slices. *LWT – Food science and Technology*. 42: 1164-1173.
- [25] Oliveira, F.R., and J.C. Oliveira. 1999. Processing foods: quality optimization and

Optimization of different pretreatments including blanching, soaking in different concentration of sodium chloride solution and vacuum drying on oil uptake and quality features of deep-fried eggplant

Mousavi Kalajahi, S. E.¹, Asefi, N.^{2*}, Soofi, M.³

1. Ph.D Student, Young Researchers Club, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

2. Assistant Professor, Department of Food Science and Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

3. Ph.D Student, Young Researchers Club, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

(Received: 2018/05/12 Accepted: 2019/04/27)

Understanding the relation between different variables affecting deep-fat frying before and during the frying process through the modelling, could be used to set up the optimal conditions for controlling the process that results in improvement of the quality of final fried product. In the present study, the Response Surface Methodology (RSM) and Central Composite Design (CCD) was employed in order to investigate the effects of independent variables including blanching and soaking in different concentration (3, 5 and 7%) of sodium chloride solution as well as vacuum drying (1, 2 and 3 hours) prior to deep-fat-frying and also the effect of frying duration (40, 80 and 120 s) on oil uptake and quality features of deep-fried eggplant. The equations achieved through the examinations revealed that independent variables had significant effect ($P < 0.05$) on the parameters. Among the studied parameters, vacuum drying was found as the most efficient variable. Moreover, blanching had a significant effect ($P < 0.05$) on all of the treatments. Although it reduced the oil uptake, caused adverse effects on the quality of the final product such as increasing of shrinkage and colour changes. In conclusion, the optimization of variables showed that samples soaked in 3% sodium chloride solution, dried for 2 hours, and fried for 40 s had the least oil content (1.70 g/1 g of dry matter without oil), moisture content (5.70 g/1 g of dry matter without oil), percentage of shrinkage (32%) and colour changes ($\Delta E = 25$) in comparison with the control sample.

Keywords: Blanching, Deep-Fat Frying, Eggplant, Response Surface Methodology, Vacuum Drying

* Corresponding Author E-Mail Address: Mitra.soofi@yahoo.com